# NOTICE

*Sur la fabrication de la fonte, du fer et de l'acier dans le Thuringerwald et le Frankenwald.*

Par M. Eugène JACQUOT, Élève-Ingénieur des mines.

Cette notice, extraite d'un mémoire sur la fabrication des fontes, fers et aciers, dans le groupe des usines du *Thuringerwald* et du *Frankenwald*, a pour objet la description de quelques-unes des méthodes employées dans ces contrées. Parmi ces méthodes, celles qui consistent à fabriquer la fonte dans de petits hauts-fourneaux à poitrine fermée (*blauofen*, *flossofen*, *flussofen*), et le fer dans des creusets de brasque (*læschfeuer*), sont fort anciennes et remontent au V[e] siècle, époque à laquelle les arts commencèrent à renaître en Europe.

L'histoire de l'art métallurgique nous apprend qu'au moyen âge, elles étaient répandues dans toute l'Allemagne et une partie de la France. Mais les blauofen étant peu propres à la fusion des minerais pauvres, disparurent peu à peu pour faire place aux hauts-fourneaux. Aussi on ne les retrouve plus aujourd'hui que dans les pays qui possèdent des minerais facilement fusibles comme la Styrie et le *Thuringerwald*. Quant à la méthode de fabrication qui porte en allemand le nom de *læschfeuersarbeit*, elle n'est dans aucun cas avantageuse, et si elle subsiste encore dans quelques usines groupées autour de la petite ville de *Suhl*, on doit attribuer ce résultat à l'isolement presque complet dans lequel ces usines sont res-

tées jusqu'ici. Je décrirai successivement la fabrication de la fonte dans les *blauofen* et celle du fer dans les *læschfeuer*, et je dirai quelques mots des autres méthodes en usage dans le Thuringerwald, qui offrent aussi quelques particularités.

Je suivrai toujours, dans la description d'un procédé, l'ordre suivant :

1° Matériel employé dans la fabrication ;
2° Personnel ;
3° Matières premières ;
4° Conduite de l'opération ;
5° Nature des produits obtenus;
6° Théorie de l'opération ;
7° Conditions économiques ;
8° Améliorations à introduire ;
9° Changements divers à apporter pour obtenir des produits de diverses espèces.

Des monnaies.

Mais avant de commencer et pour l'intelligence de ce qui suit, je crois utile de donner une nomenclature des monnaies, poids et mesures dont on se sert dans les différentes régions du Thuringerwald, avec leur valeur, réduite en monnaies et mesures françaises. Deux systèmes sont adoptés dans le Thuringerwald pour les monnaies, celui de la Prusse et celui de la Bavière. Le premier est en usage dans la partie prussienne, la principauté de Schmalkalden (Hesse électorale), les duchés de Saxe-Cobourg et de Saxe-Weimar. On y compte par thalers (3 fr. 75) qui se divisent en 30 silbergros ; le silbergros a 12 pfennigs. Dans la principauté de Schmalkalden, on partage encore le thaler en 24 bons gros. Le système bavarois a cours dans le duché de Saxe-Meinungen, les principautés de Schwartzbourg et le pays de Reuss. On y compte

par florins, que l'on divise en 60 kreuzers, 1 kreuzer a 4 pfennigs; 28 kreuzers = 1 franc.

Dans la principauté de Schmalkalden, — Des poids et des mesures.

$1^{liv.} = 0^{kil.},4870$.

1 centner ou quintal, $= 108^{liv.} = 52^{kil.},596$.

Le charbon se mesure par *fuder* et *stütze*.

1 fuder = 8 stütze.

1 stütze = 16 pieds cubiques, $= 0^{mèt. cub.}37824$.

1 pied de Cassel = 11 pouces du Rhin, $= 0^{m},28769$.

En Prusse,

$1^{liv.} = 0^{kil.},46846$.

1 centner ou quintal, $= 110^{liv.} = 51^{kil.},53$.

1 pied $= 0^{m}, 31385$, = 1 pied du Rhin.

La tonne, mesure pour les minerais, a 7 pieds cub. $\frac{1}{9}$.

Dans le duché de Saxe-Cobourg,

$1^{liv.} = 0^{kil.},4663$.

1 centner, $= 100^{liv.} = 46^{kil.},63$.

1 pied de Gotha, = 125 lignes, $= 0^{m},289$.

1 stütze (mesure pour le charbon) = 11 pieds cub. de Gotha.

Le bois se mesure par *klafter*.

1 klafter a 6 pieds en hauteur et en largeur, et 3 pieds de profondeur.

## PREMIÈRE PARTIE.

### FABRICATION DE LA FONTE DANS LES BLAUOFEN.

1° Matériel employé.

Disposition générale des usines.

Toutes les usines du Thuringerwald sont situées sur des cours d'eau, dans des vallées très-inclinées, très-profondes et à parois presque abruptes. Cette disposition uniforme du terrain a entraîné un arrangement général assez constant pour les princi-

pales parties dont se composent ces usines. Ordinairement les blauofen sont adossés à l'un des flancs de la vallée ; un fossé détourne, au moyen d'un barrage, une partie des eaux du ruisseau, et l'amène sur la roue qui fait mouvoir la machine soufflante. Un petit pont en planches relie le gueulard à une plate-forme entaillée dans les flancs de la montagne et sur laquelle se trouvent déposés et le minerai et le combustible. Assez souvent cette plate-forme descend suivant une pente douce jusqu'au niveau de la route établie dans la vallée, de telle façon que les voitures qui amènent le minerai et le combustible les transportent immédiatement jusqu'à cette place de décharge.

Cette disposition permet de se passer de plan incliné. Cependant, il arrive aussi quelquefois, quand la vallée est large ou quand les flancs ne sont point assez abruptes, qu'on ne puisse faire autrement que de construire un plan incliné en bois. Les minerais et le combustible sont alors élevés dans de petites brouettes traînées par des hommes.

Des blauofen. Les appareils dans lesquels on fabrique la fonte portent en allemand les noms de *blauofen*, *flossofen*, *flussofen*. Je ne connais pas l'étymologie du premier de ces noms. Quant au second, il vient évidemment du mot *floss*, par lequel on désigne en Allemagne la variété de fonte produite, et du mot *ofen*, fourneau ; le troisième n'est qu'une altération du second. Un blauofen (voyez les *fig.* 5, 6, 7, 8, *Pl. VI*) se compose essentiellement de deux parties : un massif extérieur et un massif intérieur. Le massif extérieur ne diffère pas sensiblement de celui des hauts-fourneaux. Il est pyramidal et ordinairement construit en grès bigarré. On y ménage

des canaux pour le dégagement de la vapeur d'eau, et on relie la maçonnerie par des clefs afin qu'elle se prête aux mouvements opérés par la dilatation. Cette maçonnerie est séparée de la partie intérieure par un espace que l'on remplit de matériaux réfractaires et incohérents. La cuve est formée de deux cônes tronqués adossés base à base; la partie supérieure est ordinairement construite en argile, et l'inférieure en grès réfractaire de la formation du grès bigarré. Quelquefois aussi toute la cuve est construite en grès ou bien en briques. Dans tous les cas, les pierres qui doivent former la partie inférieure sont toujours taillées avec soin; lorsqu'on les dispose, on ménage près de la sole un trou qui sert à faire la coulée et que l'on bouche pendant l'opération avec de l'argile. La sole est formée par une pierre de grès bigarré ou de grès réfractaire, ou bien encore de poudingue de la formation du *todtliegende*.

Cette pierre se détériore très-rapidement. On peut estimer moyennement à $0^m,10$ la diminution mensuelle d'épaisseur. On est obligé de la renouveler tous les deux mois. Quelquefois, cependant, elle dure onze et même douze semaines; on conçoit que cela dépend beaucoup de sa qualité, et aussi de son épaisseur. Quand on enlève une pareille pierre, on observe qu'elle présente un aspect assez singulier. La fonte a pénétré jusqu'à une certaine profondeur et a formé avec le grès un véritable poudingue dont elle forme la pâte.

Il n'y a ordinairement dans un blauofen qu'une seule tuyère qui est placée sur le côté et à $0^m,30$ de la surface supérieure de la pierre de fond, au commencement de la campagne. Cette tuyère est horizontale, ou bien elle reçoit une légère incli-

naison ascendante de 15′ à 20′. Très-rarement il y a deux tuyères; ce cas se présente, par exemple, dans un blauofen nouvellement construit près de Schmalkalden et dont le dessin se trouve représenté *fig.* 5, 6, 7, 8, *Pl. VI.* Ce dessin a été pris sur les plans qui ont servi à construire le blauofen, on peut donc le considérer comme très-exact.

Des machines soufflantes. Les machines soufflantes sont des soufflets de bois ordinaires, il y en a deux pour un blauofen. Le plus souvent ils sont mis en mouvement par une méthode vicieuse qui consiste à relier au moyen d'une corde les deux volants à un levier suspendu au plafond de l'usine. Quand l'un des deux volants descend par l'action de la force motrice, l'autre est obligé de monter. Quelquefois aussi ils sont reliés à des balanciers chargés de contre-poids qui les relèvent. Dans tous les cas, ils sont abaissés par des cames qui passent sur un étrier. Les cames sont attachées à l'arbre d'une roue à augets toujours prise par dessus, et en général fort mal construite. La plus grande partie, de ces roues, en effet, perdent une grande partie de leur eau à l'entrée de celle-ci dans l'auget. On s'embarrasse peu d'adopter une construction meilleure; car pendant l'automne, l'hiver et le printemps, on a toujours beaucoup plus d'eau qu'on n'en veut, et pendant l'été on en manque complétement. Cela étant, il devient tout à fait impossible de calculer la quantité du vent lancé dans le fourneau, et je n'ai pu faire de pareils calculs que pour l'usine de *Luisenthal* qui est pourvue d'une machine soufflante à cylindres sans balancier.

2° Personnel. Le personnel attaché à un blauofen se compose de quatre ouvriers partagés en deux postes qui se

rechangent quand trois gueuses ont été coulées, c'est-à-dire environ après cinq heures. Il y a aussi quelquefois un aide, surtout quand il faut élever les charges au gueulard. L'un des ouvriers est employé à la tuyère et l'autre prend le soin des charges. Ils reçoivent, à Luisenthal, 3 silbergros par centner de fonte produit, soit $0^{fr},375$ pour $46^{kil.},63$, ou $0^{fr},80$ pour 100 kil. de fonte. L'aide qui est payé à part 0,75 par jour est compris dans cette évaluation. A *Steinbach*, dans la Hesse, on donne par centner de fonte 2 bons gros $\frac{1}{2}$, ou $0^{fr},39$; le centner est peu différent de celui du duché de Saxe-Gotha.

3° Matières premières de la fabrication.
Du minerai et de la castine.

Le minerai que l'on fond dans les blauofen est toujours de l'oxyde brun ou du fer spathique avec lequel on mélange un peu d'oxyde rouge à gangue quartzeuse. Le fer spathique est grillé en tas avec du bois, tant pour rendre le minerai plus poreux et plus facilement réductible que pour chasser l'eau et l'acide carbonique qui ne peuvent que gêner dans de petits fourneaux où la température n'est pas très-élevée. Le minerai grillé est cassé en petits morceaux de la grosseur d'une noix, puis il est abandonné à l'air le plus longtemps possible.

Une analyse faite sur le minerai du Stahlberg grillé m'a donné les résultats suivants :

| | pour 100. |
|---|---|
| Gangue (sulfate de baryte, quartz, un peu de silice gélat. . . . . . . | 5,40 |
| Oxyde de fer. . . . . . . . . . . . | 58,00 |
| Oxyde de manganèse. . . . . . . . | 11,40 |
| Magnésie. . . . . . . . . . . . . | 2,60 |
| Chaux. . . . . . . . . . . . . . . | 8,40 |
| Perte (eau hygr. et acide carboniq.). | 14,00 |
| | 99,80 |

Il contient 40 p. 0/0 de fer; 10 grammes de ce minerai fondus sans addition ont donné $4^{gr},70$ de fonte blanche assez malléable et très-résistante; cette fonte contenait évidemment beaucoup de manganèse. La scorie pesait $1^{gr},62$, elle était verte et vitreuse.

Bucholz a fait l'analyse d'un oxyde brun de Schmalkalden (probablement du Stahlberg) qui lui a donné :

| | |
|---|---|
| Oxyde de fer. . . . . . . . . | 73,75 |
| Oxyde de manganèse. . . . . | 10,50 |
| Carbonate de chaux. . . . . | 2,75 |
| Eau. . . . . . . . . . . . . | 13,00 |
| | 100,00 |

On ajoute ordinairement aux minerais du calcaire (calcaire de transition ou muschelkalk) et des scories de forges. L'analyse d'une de ces scories a donné:

| | |
|---|---|
| Silice. . . . . . . . . . | 0,16 |
| Protoxyde de manganèse. | 0,23 |
| Protoxyde de fer. . . . . | 0,08 |
| Chaux. . . . . . . . . . | 0,57 |
| Alumine. . . . . . . . . | trace. |
| | 1,04 |

Elle est représentée par la formule

$$(Ca^{1}, mn^{5}, fe^{15})^{9} Si^{4}.$$

On a pour but, en faisant cette addition, d'introduire dans le fourneau un silicate très-basique qui dissout la silice et le quartz qui entrent dans la gangue des minerais.

Les analyses que je viens de citer font voir que dans tous les cas le laitier doit être un silicate de manganèse, de chaux, de magnésie et de baryte, dans lequel la première base se trouve en quantité

assez notable. Il ne peut donc manquer d'être très-fusible.

Dans quelques usines, et en particulier à *Luisenthal*, on ajoute encore au lit de fusion ordinaire un oxyde de manganèse mélangé d'oxyde de fer, mais jamais en quantité très-considérable.

Enfin, plusieurs blauofen du *Thuringerwald* emploient comme fondant le spath fluor. Ce réactif agit de deux manières, en entraînant une partie de la silice à l'état de fluorure de silicium et en rendant les scories plus fusibles par le fait même de sa présence. Toutefois, je n'oserais affirmer que cette dernière action soit bien certaine, car pour s'en convaincre, il faudrait analyser les laitiers, et je ne connais aucune analyse de ce genre.

Du combustible.

Le combustible que l'on emploie pour la fusion des minerais dans les *blauofen* est toujours du charbon de hêtre et de pin. On préfère toujours le premier au second, parce qu'il est plus compacte et produit plus de chaleur. Aussi, dans la partie ouest du Thuringerwald, où se trouvent des forêts de bois feuillus, on est dans l'habitude de mélanger le charbon de hêtre et de pin par parties égales. Mais dans la partie est, qui est presque totalement dépourvue de bois feuillus, on est obligé de s'en passer, et l'on fond avec du charbon de pin.

De la quantité de vent.

Pour une usine qui fond des minerais contenant 40 p. 0/0 de fonte et qui produit par jour 30 quintaux métriques de fonte, on peut estimer à $11^{\text{m.c.}},03$ ou à $14^{\text{kil.}},34$ la quantité d'air lancée par minute. Ces nombres résultent de calculs faits sur l'usine de *Luisenthal*.

4° Conduite des blauofen.

De la mise en feu.

La conduite d'un *blauofen* est toujours très-simple, et elle exige beaucoup moins de soins que celle des hauts-fourneaux ordinaires.

Supposons une campagne terminée, ce qui arrive toutes les huit ou dix semaines et la partie inférieure de la cuve assez endommagée pour qu'on soit obligé de la reconstruire en entier. Ce cas, qui ne se présente guère qu'au bout de deux années, parce que les blauofen ne marchent pas plus de trois ou quatre mois, est le plus compliqué. Quand on veut commencer une nouvelle campagne, on démolit la poitrine et on enlève la pierre de fond, puis on en établit une nouvelle sur une couche d'argile fortement tassée, de telle façon qu'elle ait une légère inclinaison vers le trou de coulée. On reconstruit ensuite la partie inférieure de la cuve avec des pierres de grès soigneusement taillées, dont les joints sont sensiblement normaux à la circonférence intérieure, et on a soin de laisser une ouverture pour la tuyère et une autre à la place où doit se trouver le trou de coulée.

Le fourneau est ensuite desséché avec du petit bois que l'on brûle d'abord devant la poitrine, et que l'on porte ensuite dans l'intérieur de la cuve.

On gradue soigneusement la chaleur, et quand on s'aperçoit que la dessiccation est déjà avancée, on ferme la partie supérieure de l'ouverture ménagée sur le devant du fourneau et on ne laisse subsister qu'un petit trou que l'on bouche avec de l'argile et qui doit servir à la coulée. On jette ensuite successivement dans la cuve du charbon allumé et du charbon noir, et au bout de quelques jours on commence à donner le vent et à charger du minerai. Les charges de minerai sont d'abord faibles, mais on les porte bientôt au poids ordinaire.

Conduite du fourneau en train.

Le fourneau, une fois mis en train, le travail des ouvriers se réduit à très-peu de chose. Celui

qui est occupé au gueulard doit avoir soin de faire les charges à des intervalles réglés. Quant au fondeur (*schmelzer*), il effectue la coulée et soigne la tuyère. On fait de 12 à 15 coulées en 24 heures, en sorte que les matières restent de $1^{h}\frac{1}{2}$ à 2 heures dans la cuve. Quand le moment de faire la coulée approche, l'ouvrier prépare le moule.

Il commence à jeter un peu d'eau sur le sable qui se trouve sous l'embrasure de travail afin de lui donner plus de consistance. Puis avec un châssis en bois il creuse dans le sable une fosse parallélipipédique, dont les rebords sont évasés. Cette fosse est peu éloignée du trou de coulée, et elle est terminée de ce côté par un plan légèrement incliné sur lequel la fonte doit couler en sortant de la cuve. Les dimensions de la fosse sont ordinairement de 2 mètres de longueur, $0^{m}$,25 de largeur, l'épaisseur de $0^{m}$,10.

Quand le moule est construit, l'ouvrier fait avec son doigt dans la partie la plus éloignée du fourneau un petit trou qui laisse sous la gueuse l'empreinte d'un crochet. Lorsque le moment de la coulée est arrivé, le fondeur perce le trou à coups de ringard ; cette opération ne se fait point sans peine, car l'argile est fortement durcie. La fonte et le laitier se rendent dans le moule ; ils sont très-fluides, et coulent avec la plus grande facilité comme un véritable liquide.

On n'a pas l'habitude d'arrêter le vent pendant la coulée qui dure du reste très-peu de temps ; quand elle est terminée, l'ouvrier attache au bout de son ringard un tampon d'argile humide et il bouche le trou. Alors l'aide (et quand il n'y en a pas, le fondeur lui-même) jette de l'eau sur le laitier qui recouvre la fonte. Il se fait un grand boursouflement,

et on retire de la surface du bain des scories incolores; on en laisse toutefois sur la fonte une petite couche qui se refroidit avec elle. On n'attend pas que ce refroidissement soit très-avancé pour enlever la gueuse, parce qu'on est pressé par le temps. Cette opération se fait en attachant le petit crochet qui se trouve à la surface inférieure à une chaîne en fer qui s'enroule autour d'un treuil. On facilite le transport en plaçant sous la gueuse des rouleaux en bois. Une pareille gueuse pèse ordinairement de 2 à 3 quintaux métriques.

En Bavière on a une manière de travailler un peu différente de celle-ci. Les dimensions des fourneaux bavarois sont plus considérables que celles généralement adoptées dans les autres parties du Thuringerwald. Il s'ensuit que la partie inférieure de la cuve peut contenir une plus grande quantité de matières. On ne fait donc la coulée que quatre fois par 24 heures, et comme la quantité de scories qui se rassembleraient pendant cet intervalle serait trop considérable, on ménage un trou au-dessus de celui par lequel la fonte s'écoule. Ce trou est ordinairement bouché, mais on le perce de temps en temps pour faire sortir les scories de la cuve. La gueuse est de 6, 7 et jusqu'à 8 quintaux de Bavière ($471^{\text{kil.}},21$), ($549^{\text{kil.}},78$), ($628^{\text{kil.}},32$).

Des soins à donner à la tuyère.

Lorsque le fourneau se trouve une fois en train, il arrive rarement des dérangements si l'ouvrier placé au gueulard a soin d'effectuer les charges à des intervalles égaux. Cela doit se concevoir facilement, parce que la nature des minerais que l'on traite étant très-peu variable, on connaît toujours exactement dans chaque localité les minerais que l'on mélange dans le lit de fusion et la quantité de charbon qu'il faut brûler pour les fondre. Toute-

fois, on est quelquefois dans la nécessité d'augmenter la proportion du minerai par rapport au combustible, soit parce que celui-ci est mieux grillé ou plus sec, soit parce qu'il est plus fusible. Quand ce cas se présente, la tuyère devient claire, une flamme vive et sans fumée apparaît au gueulard, la fonte est très-chaude, elle conserve longtemps sa fluidité. Si au contraire la quantité de minerai ajoutée est trop considérable, la tuyère devient obscure et il se forme des engorgements, parce que la température n'est plus assez élevée pour maintenir la fonte et les laitiers dans une fusion complète. Ces accidents se présentent très-rarement, et il est toujours facile d'y remédier en augmentant dans le premier cas, et en diminuant dans le second, la quantité du minerai.

Mise hors feu.

Quand l'espace dans lequel se réunissent la fonte et le laitier se trouve trop agrandi, ce qui arrive, comme nous l'avons déjà dit, au bout de huit à onze semaines, on est obligé de cesser le fondage, parce que les matières ne peuvent plus être tenues assez liquides dans le fond de la cuve et qu'il pourrait se faire des engorgements. On arrête alors les charges, et quand le creuset est refroidi, on enlève la pierre de fond, comme nous l'avons dit au commencement de cet article. Il reste ordinairement sur cette pierre une fonte aciéreuse qui pénètre assez souvent dans l'intérieur et forme un véritable poudingue.

5° Nature des produits obtenus.
De la fonte.

La fonte que l'on obtient dans les *blauofen* des minerais manganésifères du *Stahlberg* et de *Camsdorf* est ordinairement blanche, à petites lames, et quelquefois caverneuse. C'est celle que l'on obtient par une surcharge de minerais ou une allure froide. Il y a deux raisons pour qu'on soit porté à

agir ainsi. On brûle moins de charbon dans le blauofen, et on fait aussi une économie de combustible dans le feu d'affinerie, parce que cette fonte étant de toutes les fontes manganésées celle qui contient le moins de carbone, elle est la plus facile à décarburer. On obtient, mais rarement, et seulement accidentellement, la fonte lamelleuse à grandes lames qui correspond à l'allure intermédiaire.

On produit cependant quelquefois à *Luisenthal* une semblable fonte pour un objet spécial. Le fer qu'elle donne par l'affinage est vendu à une fabrique d'armes blanches qui se trouve près de *Suhl*, et il est employé pour faire des cuirasses. Il paraît que ce fer est très-résistant et qu'il prend en même temps un beau poli, deux qualités qui sont essentiellement propres à le faire rechercher pour l'usage auquel on l'emploie.

Du laitier.

Le laitier est ordinairement celui que l'on obtient par un refroidissement brusque, c'est-à-dire qu'il est vitreux. Sa couleur est le vert pâle; il présente quelquefois des indices de cristallisation. Quand on jette de l'eau sur le bain après sa sortie du fourneau, on retire de la surface un laitier poreux et blanc qui doit sa couleur à l'état de ténuité où se trouvent les matières. C'est, comme le premier, un silicate de chaux, de magnésie, de protoxyde de manganèse et de baryte qui ne contient que très-peu d'oxydule de fer et encore moins d'alumine. Il est sulfureux, et s'éloigne peu de la formule $B^3 . S^4$; B représentant les bases à 1 atome d'oxygène, et S la silice. Cette composition est assez remarquable pour un laitier provenant de minerais spathiques, à cause de sa grande basicité. Elle se rapproche beaucoup de celle d'un laitier de Musen,

que l'on trouve dans la Voie sèche, page 280. Ce laitier provient, comme ceux du *Thuringerwald*, de minerais spathiques; il est aussi sulfureux, et il est assez remarquable qu'il soit un des plus basiques de tous ceux analysés, même page. Il contient aussi, comme les nôtres, beaucoup de protoxyde de manganèse. Je déduirai plus tard de ces faits des conséquences, lorsque j'examinerai comment des minerais pénétrés de sulfate de baryte, comme ceux du *Thuringerwald*, peuvent donner un fer de bonne qualité.

On peut estimer moyennement que l'on consomme de 1 à 1,15 de charbon en poids pour 1 de fonte obtenue, et que pour cette même quantité on a environ 1,50 de laitier.

Je n'ai pas la prétention d'exposer ici une théorie de la réduction des minerais de fer dans les blauofen. Les principes sur lesquels cette théorie doit être basée sont bien évidemment les mêmes que ceux que l'on a donnés pour les hauts-fourneaux, et je n'ai rien à ajouter à cet égard aux développements qui ont été publiés récemment dans les *Annales des mines*. G° Théorie.

Je dirai seulement quelques mots qui se rapporteront à trois points principaux du traitement métallurgique : 1° but du grillage ; 2° nature de la fonte; 3° qualité de cette fonte.

Les minerais du Thuringerwald ne contiennent pas de pyrites, ce fait est complétement démontré par les analyses qui ont été faites et l'inspection même des minerais dans une foule de localités. Le grillage suivi d'une exposition à l'air n'a donc point ici pour but de chasser le soufre en le transformant en acide sulfurique. Son objet principal est de changer le protoxyde du fer spathique en But du grillage.

peroxyde, et voilà pourquoi on ne grille jamais le *brauneisenstein* (oxyde brun). Ce changement, d'une base très-forte en une autre qui possède des affinités beaucoup plus faibles, ne laisse pas que d'avoir de l'importance quand le minerai se trouve en présence du quartz dans les hauts-fourneaux. Il n'est pas douteux, en effet, que si ce changement n'était pas effectué il pourrait se scorifier beaucoup d'oxyde de fer avant la réduction, et qu'alors, quand bien même il resterait encore de la castine en présence du laitier, cette réduction deviendrait beaucoup plus difficile.

Le fait de la combinaison du quartz à une température qui n'a pas besoin d'être très-élevée avec le protoxyde de fer est assez prouvé du reste, par ce qui se passe dans le grillage, puisque nous trouvons de la silice gélatineuse dans le minerai qui y a été soumis. Le grillage chasse aussi l'eau et l'acide carbonique, et c'est encore là un résultat précieux pour le succès de l'opération dans de petits hauts-fourneaux, où l'introduction de ces deux éléments de refroidissement ne peut que gêner.

Nature de la fonte.

Les minerais du Thuringerwald sont éminemment manganésifères, et c'est à cette présence du manganèse qu'il faut attribuer ici la nature de la fonte que l'on obtient. D'un côté, en effet, en s'introduisant dans la scorie, il la rend très-fusible, et permet d'augmenter le nombre des charges par rapport au combustible, circonstance qui tend à diminuer la quantité de carbone introduite dans la fonte. D'un autre côté, il passe en partie dans la fonte, et il tend encore à la blanchir par sa grande affinité pour le carbone, affinité qui s'oppose à la séparation de cet élément à l'état de graphite.

Tous ces faits paraissaient peu difficiles à expliquer, mais lorsque je rapprochai la bonne qualité des fers et des aciers du *Thuringerwald* de la nature des minerais chargés de sulfate de baryte, il me semblait d'abord qu'il y avait là une contradiction manifeste. Toutefois, en y réfléchissant, je crois que je suis parvenu à me rendre compte de ce fait si singulier. On sait que les sulfates sont décomposés au contact du charbon par la chaleur. Le sulfate de baryte doit donc donner lieu à du sulfure de baryum dans le haut-fourneau; mais s'il y a en présence de la silice ou un silicate acide, une certaine partie du sulfate de baryte doit être décomposée en donnant lieu à du silicate de baryte et, par la réaction du charbon, à du soufre qui s'unit à la fonte. Il aurait donc été intéressant de soumettre celle-ci à l'analyse chimique; mais le temps ne m'a pas permis de le faire. Privé de cette lumière, j'ai été obligé de recourir à d'autres faits pour m'éclairer sur la nature de cette fonte, et je crois pouvoir affirmer qu'elle ne contient pas de soufre ou qu'elle n'en contient que très-peu. Le fait qui me conduit à cette conclusion est la qualité bien connue des fers et des aciers du Thuringerwald en général, et en particulier de ceux de Schmalkalden. Qualité de la fonte.

On ne fabrique pas avec des fontes sulfureuses du fer destiné à la fabrication de la tôle, du fil d'archal, des canons de fusil, etc. Encore bien moins une fonte sulfureuse peut-elle donner un bon acier, car on sait que l'on ne corrige guère dans les feux d'affineries les défauts de la fonte quand on cherche à produire de l'acier. Je crois donc pouvoir conclure de tous ces faits que s'il existe du soufre dans la fonte blanche du Thuringerwald, ce n'est

qu'en très-petite quantité, et qu'il n'y en a pas assez pour en faire ce qu'on appelle une fonte sulfureuse, quoique la nature de ces minerais soit éminemment propre à donner une pareille fonte. C'est au manganèse qui se trouve en si grande quantité dans ces minerais, et que l'on ajoute même quelquefois comme fondant, que je suis porté à attribuer la désulfuration ; et il me semble qu'il joue ce rôle de deux manières différentes : d'une part, il rend la scorie très-fusible et permet à celle-ci de contenir moins de silice qu'elle n'en contient ordinairement dans les laitiers provenant de la fusion des fers spathiques. Il joue à cet égard le même rôle que la chaleur dans les hauts-fourneaux qui marchent au coke ; de l'autre, il peut agir comme désulfurant (1), et l'on ne peut douter, d'après les affinités bien connues du manganèse pour le soufre et la quantité de ce métal qui entre dans le laitier, que cette action ne soit très-efficace. C'est donc au manganèse contenu dans les minerais du *Thuringerwald* qu'il faut attribuer la bonne qualité de ses fontes.

(1) Ce fait n'est nullement impossible ; je rapporterai même une expérience de M. Credner qui tendrait à prouver qu'il en est ainsi. Cet ingénieur, qui a analysé le laitier et qui y a trouvé de la potasse, croyait d'abord que le soufre était uni au potassium ; mais il a bientôt changé d'opinion, et il dit dans le journal de Léonhard, année 1837 : « Le soufre paraît être combiné dans le laitier au » manganèse ; je n'ai pas réussi, en le faisant digérer avec » de l'eau, à en isoler du sulfure de potassium, tandis que » la couleur noire que prend le laitier réduit en poudre » quand on le traite par l'acide chlorhydrique, tendrait à » prouver que le soufre est uni au manganèse, comme » cela a lieu dans l'*Helvine.* »

Je donnerai d'abord, en mesures de Gotha, les résultats obtenus dans l'usine ducale de *Luisenthal* depuis 1831 jusqu'à 1838 inclusivement, en tout sept années, 1837 manquant. Pendant ce temps, le blauofen a été soufflé à l'air froid. On a produit 33,656 quintaux de fonte, ce qui donne, année moyenne, 4,808 quintaux. 7° Conditions économiques de la fabrication.

Le blauofen produit de 60 à 66 quintaux par jour; il a donc marché moyennement 2 mois $\frac{1}{2}$ par année. Il exige par minute 14 kil. d'air à une pression de 4 centimètres. On fond du minerai du *Stahlberg*, de *Camsdorf*, de l'oxyde rouge d'*Eisenberg*, de l'oxyde de manganèse, des scories d'affinage et de la chaux carbonatée qui entre dans le lit de fusion, ainsi que les scories d'affinage, pour 1 p. 0/0 seulement en poids. On a aussi mêlé quelquefois au lit de fusion de la vieille fonte, toujours en petite quantité. On obtient de 282$^{\text{liv.}}$,6 de lit de fusion, 100 liv. de fonte ; celui-ci en contient donc 35 p. 0/0.

Cette usine fond, comme on le voit, des minerais peu riches pour la contrée.

On a dépensé en bois pour le grillage du fer spathique correspondant à 100 liv. de fonte 1 sil. 10$^{\text{pf.}}$,4, ou 0$^{\text{f.}}$,229.

Le tableau suivant, extrait des registres, et que je dois à la complaisance de M. *Credner*, ingénieur des mines à *Gotha*, donne le prix de revient de 1 quintal de fonte.

*Frais spéciaux.*

| | th. | s.g. | pf. |
|---|---|---|---|
| liv. Minerai (271,3) a coûté, y compris le grill. | 1 | 8 | 3, 9 |
| Fondant (braunstein, scories de f., kalkspalh) 11 liv. 30 | 0 | 0 | 7 |
| Charbon. {sapin. 13pi.c.,5 / hêtre. 4pi.c.,2} pesant ensemble 120 liv. | 0 | 16 | 0 |
| Main-d'œuvre, 4 ouvriers et 1 aide | 0 | 2 | 11, 9 |
| | 1 | 27 | 10, 8 |

*Frais généraux.*

| | th. | s.g. | pf. |
|---|---|---|---|
| Intérêts des fonds engagés et du fonds de roulement, évalués approximativement à. | 0 | 8 | 0 |
| Frais d'entretien (*instandhaltung*) | 0 | 2 | 9,2 |
| Frais de direction (un directeur et son loyer). | 0 | 2 | 11,5 |
| Menues dépenses en gros (*insgemein*) | 0 | 0 | 9,9 |
| | 0 | 14 | 6,6 |

| | th. | s.g. | pf. |
|---|---|---|---|
| Frais spéciaux | 1 | 27 | 10,8 |
| Frais généraux | 0 | 14 | 6,6 |
| | 2 | 12 | 5,4 |

Soit par quintal de Saxe-Cobourg 9fr.,06, on aura pour 1 quintal métrique 19fr.,42; ce prix est assez élevé, mais d'autres usines se trouvent placées dans des conditions plus avantageuses. Les minerais qu'elles fondent sont plus riches, et elles ne consomment pas autant de charbon. On peut estimer moyennement cette quantité de 1 à 1,15 en poids pour 1 de fonte produite.

8° De l'emploi à l'air chaud.

On ne saurait douter, d'après les résultats qui ont été obtenus à Luisenthal, que l'emploi de l'air chaud ne soit une amélioration bonne à introduire dans la conduite des blauofen (1). Il y a eu en effet,

(1) L'appareil à chauffer l'air est placé au-dessus du gueulard dans un espace muraillé avec des briques. L'air

par le fait même de cette introduction, une économie notable dans la consommation en charbon, et la nature de la fonte n'a pas été changée.

On a commencé à introduire l'air chaud à Luisenthal en 1839, et voici le résultat du roulement de cette année: On a obtenu 4.368 quintaux de Saxe-Cobourg de fonte avec 4.297 $\frac{1}{4}$ tonnes de minerai pesant 1.306.364 liv. et 2.300 liv. de vieille fonte.

On a consommé pour le grillage 473 stütze de charbon de sapin pesant 33,583 liv., et pour la fusion 4.880 stütze pesant 348.432 liv., charbon de sapin, et 1.554 stütze pesant 142.103, charbon de hêtre.

| | th. | s.g. | pf. |
|---|---|---|---|
| On a payé pour le charbon. . . . . . . . | 3.561 | 6 | 7 |
| — pour le minerai et la vieille fonte. | 6.156 | 18 | 6 |
| — pour le fondant. . . . . . . . . | 105 | 22 | 1/4 |
| — en main-d'œuvre. . . . . . . . | 549 | 15 | 1 1/4 |
| — en frais de direction. . . . . . . | 500 | 0 | 1 1/2 |
| — frais d'entretien. . . . . . . . . | 306 | 22 | 7 3/4 |
| — menues dépenses. . . . . . . . . | 151 | 23 | 7 1/2 |
| Total. . . . . . . . . . | 11.332 | 12 | 7 1/4 |

Ce qui donne, pour le prix du *centner* ou du quintal de Saxe-Cobourg.

*Frais spéciaux.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Minerai 288 liv. (grillage compris). . . . . | 1 | 11 | 0 |
| Fondant, 12 liv. . . . . . . . . . . . . . | 0 | 0 | 7 |
| Charbon. { sapin. 12pl.c.,3 / hêtre. 3pl.c.,9 } en poids 111 liv. | 0 | 18 | 2,3 |
| Main-d'œuvre, 5 ouvriers (*arbeits lohn*). . . | 0 | 3 | 0,2 |
| | 2 | 2 | 9,5 |

est chauffé en partie par les flammes perdues, en partie par de la tourbe que l'on brûle dans un conduit qui entoure le tube descendant. Je n'ai pu connaître la température.

*Frais généraux.*

| | th. | s.g. | pf. |
|---|---|---|---|
| Intérêts des fonds engagés et du fonds de roulement | 0 | 8 | 0 |
| Frais d'entretien (*instandhaltung*) | 0 | 1 | 8,2 |
| Frais de direction (*besoldung*) | 0 | 2 | 9 |
| Menues dépenses | 0 | 0 | 10 |
| | 0 | 13 | 3,2 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Frais spéciaux | 2 | 2 | 9,5 |
| Frais généraux | 0 | 13 | 3,2 |
| | 2 | 16 | 0,7 |

Soit pour un quintal de Saxe-Cobourg 9fr.,62. Le prix a été un peu augmenté, mais cela tient à ce que le minerai et le charbon surtout sont devenus plus chers, et on voit qu'en réalité on n'a consommé que 1,11 de charbon pour 1 de fonte, au lieu de 1,20, quoique la richesse du minerai ait diminué.

Comparaison, sous le rapport économique, des blauofen avec les hauts-fourneaux.

Cette consommation de 1,11 de charbon pour 1 de fonte lorsque le minerai ne contient que 34.6 p. o/o de fer est en réalité très-faible. Si j'ajoute que la scorie ne contient que 2 p. o/o d'oxyde de fer, et que par le travail de l'air chaud, ni la qualité, ni la nature de la fonte n'ont été changées, il devient alors évident que, sous le rapport économique, les *blauofen*, loin d'être des appareils désavantageux, doivent au contraire être recommandés pour la fusion des minerais spathiques et manganésifères faciles à fondre comme le sont ceux du Thuringerwald. Je ne connais pas pour des minerais fondus dans des hauts-fourneaux et d'une richesse de 34 p. o/o, de consommation en charbon moindre que celle que j'ai donnée plus haut. Cette économie de combustible produite par

les blauofen me paraît devoir être attribuée à ce que la quantité de chaleur qui se perd dans les hauts-fourneaux par l'ouverture de la poitrine est ici considérablement réduite. Il est vrai que les blauofen ont sur les hauts-fourneaux le désavantage de ne pouvoir marcher que pendant 8 à 10 semaines, mais cette circonstance est de peu d'importance dans le Thuringerwald, parce que ce temps est ordinairement celui du travail d'une année.

Je terminerai cet article sur l'emploi de l'air chaud par quelques mots sur le laitier que l'on obtient aujourd'hui à l'usine de *Luisenthal*. On se rappelle comment on fait la coulée dans un blauofen; quand le bain est rassemblé dans le moule, la fonte occupant la partie inférieure et le laitier la partie supérieure, on jette de l'eau dessus afin de faire tomber probablement les culots de fonte retenus dans le laitier, en agitant ainsi la matière en fusion. On retire alors du bain une scorie blanche et spongieuse qui a une composition identique avec celle qui reste sur la gueuse et qui se refroidit lentement avec elle. L'épaisseur de la partie restante est environ de $0^m,04$. La partie supérieure qui est refroidie brusquement présente l'aspect vitreux, elle est d'une couleur brun verdâtre et transparente dans les éclats mêmes. La partie inférieure, au contraire, qui est soumise à un refroidissement lent, est pierreuse, d'un vert clair et à cassure écailleuse. Entre ces deux parties se trouve une couche quelquefois assez épaisse qui, quand on la coupe transversalement, présente l'aspect d'un vrai porphyre. La pâte est formée d'une partie vitreuse identique avec la partie supérieure. Sur cette pâte on voit se détacher très-nettement des cristaux d'un vert poireau tout à

Scorie cristallisée.

fait semblables pour la couleur et la cassure à la partie inférieure.

Quelquefois ces cristaux sont groupés par cinq autour d'un centre, et on observe en quelques endroits des taches rayonnées qui correspondent aux parties dans lesquelles la cristallisation ne s'est pas parfaitement développée. Quand il se forme des druses dans le laitier, on peut quelquefois y apercevoir des cristaux. Mais le fait le plus remarquable est que ces cristaux sont de deux espèces. Les échantillons que j'ai rapportés contiennent ces deux espèces ; l'une d'elles appartient au système prismatique carré, et l'autre au système prismatique rectangulaire. On peut très-bien apercevoir sur l'un des échantillons ces deux espèces de cristaux ; ceux qui appartiennent au prisme carré ne sont pas modifiés, les autres ont des pointements sur l'arête du prisme qui correspond à l'angle obtus.

C'est là certainement un fait bien remarquable, et la géologie peut en tirer un bon argument pour l'explication de la formation des roches granitiques et porphyriques par la voie ignée. Peut-être cette séparation a-t-elle été produite par le plus ou moins de fusibilité des silicates.

J'ai dû nécessairement tâcher de connaître la composition de ces silicates, et j'ai soumis plusieurs parties de la scorie à l'analyse. Mon travail terminé, j'ai trouvé dans le journal de Léonhard et Bronn, année 1837, un article de M. Credner de Gotha, dans lequel il rapportait aussi plusieurs analyses de la même scorie, et j'ai eu le plaisir de voir que mes résultats coïncidaient avec les siens.

Je rapporterai d'abord les analyses et j'en tirerai ensuite des conclusions.

Voici d'abord plusieurs analyses de la partie vitreuse renfermant des cristaux :

| | *a.* | *b.* | *c.* | *d.* |
|---|---|---|---|---|
| Silice. . . . . . . . . . | 39,02 | 36,63 | 38,54 | 36,50 |
| Chaux. . . . . . . . . . | 25,285 | 25,92 | 29,93 | 25,98 |
| Oxyde de manganèse. . . | 28,970 | 19,05 | 11,20 | 19,10 |
| Magnésie. . . . . . . . | » » | 4,71 | 9,17 | 4,78 |
| Baryte. . . . . . . . . | » » | 7,59 | 7,91 | 7,20 |
| Oxyde de fer et alumine. | 1,85 | 4,85 | 3,13 | 3,92 |
| Potasse. . . . . . . . . | 0,370 | traces. | » | » |
| Soufre. . . . . . . . . | 2,900 | 0,32 | 0,90 | 0,50 |
| | 98,395 | 99,07 | 100,78 | 97,98 |

*a.* Lampadius, journal d'Erdmann, 18^e volume, 1^er cahier, scorie brune vitreuse avec cristaux verts (la baryte et la magnésie n'ont pas été séparées).

*b.* M. Credner. Laitier ordinaire, brun vitreux rempli de cristaux.

*c.* M. Credner. Laitier brun vitreux avec cristaux verts. Ce laitier a été obtenu en mélangeant dans le lit de fusion un *brauneisenstein* enfermé dans de la dolomie, qui provenait d'Hirschberg, près de Schmalkalden.

*d.* J'ai fait l'analyse *d* sur un laitier vitreux mélangé de cristaux.

Pour arriver à connaître la composition véritable des cristaux, il fallait isoler les parties cristallisées. En rapprochant la partie pierreuse qui se trouve immédiatement au-dessus de la fonte, des cristaux cassés, appartenant au premier système, je trouvai une identité d'aspect extérieur très-frappante. Cependant je n'aurais pas osé conclure que la composition de cette partie était bien celle des cristaux prismatiques carrés, si, en rappro-

chant les résultats que j'avais trouvés de ceux donnés par M. Credner, je n'avais reconnu qu'il y avait concordance complète. Et comme cet ingénieur, qui avait à sa disposition une grande quantité de scories, a pris le soin d'isoler un à un les cristaux prismatiques carrés qui sont empâtés dans la partie vitreuse, j'en conclus que son analyse, ainsi que la mienne, représentent la composition de ce silicate.

Analyses de cristaux :

| | *a*. | *b*. | *c*. |
|---|---|---|---|
| Silice. | 42,520 | 37,22 | 38,30 |
| Chaux. | 22,542 | 27,07 | 27,33 |
| Oxydule de manganèse. | 26,826 | 20,51 | 20,13 |
| Magnésie. | » | 2,84 | 2,80 |
| Baryte. | » | 8,26 | 7,66 |
| Alumine et oxyde de fer. | 1,432 | 3,74 | 3,00 |
| Potasse. | 0,381 | traces | » |
| Soufre. | 5,000 | 0,33 | 0,40 |
| | 98,701 | 99,97 | 99,82 |

*a*. Lampadius. Je n'attacherai aucune importance à cette analyse, parce que la moitié des éléments n'y est pas dosée.

*b* et *c* sont les analyses de M. Credner et la mienne; elles concordent parfaitement. Il n'y a qu'une trace d'alumine; ainsi on peut admettre 3 p. o/o d'oxydule de fer. Quant au soufre, il est en trop petite quantité pour constituer un élément essentiel.

Si on prend les quantités d'oxygène qui correspondent à la silice et aux bases, on trouve :

| | | o. | |
|---|---|---|---|
| Silice. | 37,22 | 19,3359 | 4 |
| Chaux. | 27,07 | 7,6034 | 3 |
| Magnésie. | 20,51 | 4,6001 | |
| Baryte. | 8,26 | 0,8632 | |
| Oxyde de fer. | 3,00 | 0,6830 | |

Ce rapport de 4 à 3 est presque exact. Il n'y a dans la nature aucun minéral qui présente cette composition ; je crois donc qu'il faut en faire une espèce nouvelle, représentée par la formule ( Ca, Mn, Bar, Fe ). $^3$. $S^4$.

Ce minéral cristallise en prisme droit à base carrée : il est couleur vert-poireau, non transparent ; il a un éclat légèrement gros, sa pesanteur spécifique est de 3,11 à 3,17, d'après M. Credner. J'ai trouvé, pour cette même pesanteur, 3,14. La dureté est égale à 5.

Quant à celui qui cristallise en prisme rhomboïdal, M. Credner a aussi reconnu que c'était un silicate de chaux de magnésie, d'oxydule de manganèse, d'oxydule de fer et de baryte, contenant un peu d'alumine et de soufre ; mais comme il ne se produit jamais en grande quantité, il n'a pas pu doser les éléments. Il ressemble beaucoup au péridot, et je crois qu'il faut le rapporter à cette espèce.

9° Changements à apporter pour la fabrication de la fonte aciéreuse. *Rohsthal.*

La fabrication de la fonte destinée à l'affinage de l'acier, constitue dans le Thuringerwald une industrie à part. Les compagnies ou les particuliers qui fabriquent l'acier dans un ou plusieurs foyers d'affinerie ont chacun leur fourneau de fusion. On choisit ordinairement pour cette fabrication les fers spathiques les plus purs, c'est-à-dire les moins mélangés de gangues, et ceux qui contiennent le plus de manganèse. On s'attache moins aussi, lorsque l'on fond les minerais, à maintenir une allure froide, et la fonte qu'on obtient se rapproche plus de celle produit par une allure intermédiaire.

# DEUXIÈME PARTIE.

## DE LA FABRICATION DU FER.

On emploie dans le Thuringerwald deux méthodes d'affinage, une modification particulière de la méthode allemande et la méthode des *Læschfeuer* ( *Læschfeuersarbeit* ). Je décrirai successivement chacune de ces méthodes.

### De l'affinage par la méthode allemande. ( *Kaltfrischfeuersarbeit* et *Warmfrischfeuersarbeit.* )

Généralités. L'essentiel de la méthode allemande est, comme on le sait, de produire le mazéage et l'affinage de la fonte dans le même foyer. Mais cette méthode renferme plusieurs nuances, dont deux sont surtout en usage dans le Thuringerwald. La première, qui est connue sous le nom de *Kaltfrischfeuersarbeit*, est de beaucoup la plus répandue, c'est la méthode allemande proprement dite, dans laquelle on ne soulève qu'une fois la loupe. La seconde, celle désignée par le mot allemand *Warmfrischfeuersarbeit*, est pratiquée dans quelques usines du Thuringerwald. Elle ne se distingue de la première que parce qu'on soulève plusieurs fois la loupe avant de la forger. Cette différence est certainement très-peu de chose, et il me suffit de l'avoir indiquée. Je décrirai la méthode allemande proprement dite *kaltfrischen*, telle qu'elle est pratiquée dans le Thuringerwald.

1° Matériel employé dans la fabrication. Une forge contient ordinairement un feu d'affinerie avec la machine soufflante et un marteau.

Le feu d'affinerie est une cavité prismatique formée par cinq plaques de fonte. Elles sont disposées dans les foyers d'affinerie du Thuringerwald de la manière suivante :

Warme et contrevent, $0^{m},70$ de longueur, $0^{m},30$ de hauteur.

Rustine et laiterol, $0^{m},65$ ; hauteur, $0^{m},30$.

Épaisseur des plaques latérales en fonte, $0^{m},062$.

Épaisseur de la plaque de fond, $0^{m},075$.

La warme est déversée sur le fond, et s'avance de telle façon que la projection soit égale à $0^{m},06$ ou $0^{m},075$ au plus. Le contrevent est incliné parallèlement à la warme.

Le laiterol est formé d'une maçonnerie recouverte d'une plaque de fonte dans laquelle se trouve ménagé un trou pour l'écoulement des scories. Il y a aussi quelquefois au-dessous de la plaque de fond un tuyau dans lequel on fait couler de l'eau froide quand cette plaque s'échauffe trop. La tuyère est en cuivre, elle a à son ouverture $0^{m},037$ de longueur et $0^{m},025$ de hauteur : elle s'avance de $0^{m},05$ dans le creuset, et elle est éloignée de $0^{m},175$ à $0^{m},225$ de la rustine. La hauteur au-dessus du fond ainsi que l'inclinaison varient un peu avec la nature de la fonte que l'on traite. Quand la fonte est facile à décarburer, on ne donne que $0^{m},25$ de profondeur au creuset, dans le cas contraire, $0^{m},30$. Dans ce second cas, l'inclinaison est ordinairement de 5° à 6° ; dans l'autre elle est plus considérable.

La machine soufflante se compose toujours de deux soufflets en bois, mis en mouvement par une roue hydraulique à augets, d'après le mode que nous avons indiqué pour les blauofen. Les

buses des soufflets sont disposées de telle sorte que le vent soit croisant.

Le marteau est disposé comme tous les marteaux pris de côté. Il est aussi mis en mouvement au moyen d'une roue hydraulique à augets. Il pèse ordinairement de 200 à 250 kilogrammes.

2° Personnel. Le personnel d'une forge se compose ordinairement de 4 ouvriers, 2 maîtres affineurs et 2 forgerons; quelquefois il y a aussi, mais seulement dans les usines bien montées, 2 aides, en tout 6 ouvriers. Ils sont toujours associés, on leur délivre tant de quintaux de fonte et tant de stütze de charbon, et ils doivent rendre tant de quintaux de fer. S'ils travaillent de telle sorte que le déchet soit moindre que celui qu'on leur passe ou s'ils économisent du charbon, on leur en paye la valeur. Ils reçoivent à Luisenthal et à Georgenthal, deux usines qui appartiennent au prince de Saxe Cobourg, $10^{s.g.}$ $8^{pf}$,1 pour 1 centner de fer produit, ou pour $46^{k}$,63 $1^{f}$,343, ou $2^{f}$,85 pour un quintal métrique.

3° Matières premières. La fonte que l'on emploie pour l'affinage est ordinairement celle que produisent les blauofen.

Le combustible est toujours du charbon de pin ou de sapin, parce que celui de hêtre est réservé, comme nous l'avons dit, pour la fusion des minerais. Quant à la quantité d'air lancée dans le fourneau, elle ne peut guère s'estimer, j'en ai dit les raisosn. Les machines soufflantes sont ordinairement très-mal montées, et on ne peut connaître la quantité d'eau qui tombe sur les roues.

4° Description de l'opération. L'opération peut être divisée en deux periodes distinctes :

1° Mazéage et réchauffage des lopins;

2° Affinage proprement dit.

Elle dure de 3 heures 1/2 à 4 heures, et on opère sur 75 à 90 kilogrammes de fonte.

Je décrirai les opérations qui se font dans la première période sans m'occuper de la partie mécanique ou du forgeage des lopins.

*Première période.* — La loupe étant enlevée et le creuset nettoyé, l'ouvrier charge, mais seulement quand la fonte est difficile à affiner, 6 à 10 kilogrammes de fonte avec des scories riches de l'opération précédente. L'addition de ces scories a lieu dans tous les cas; elle a pour but de former un bain dans lequel la fonte tombant goutte à goutte se décarbure en partie par l'action de l'oxydule qu'elles contiennent sur le carbone. Quant à la fonte que l'on ajoute dans les affinages difficiles, on ne saurait expliquer son action. Il paraît que, se trouvant là en petite quantité au milieu du bain des scories, elle se convertit rapidement en fer ou en quelque chose d'analogue au fer, et qu'elle favorise ensuite l'affinage comme les barres que l'on plonge dans la loupe, dans la méthode par attachement. Ce qu'il y a de bien certain, c'est qu'il est reconnu par tous les métallurgistes de la principauté de Schmalkalden, que lorsqu'on ne prend pas cette précaution dans le cas d'une fonte difficile à affiner, on perd du temps et du charbon. La masse de fonte que l'on ajoute dans le fond du creuset au commencement de l'opération, s'appelle *frischvogel.* Dans tous les cas on place la gueuse à $0^m,10$ ou $0^m,08$ de la bouche de la tuyère, et on la laisse fondre tranquillement, on s'occupe de forger les lopins. Au bout d'une demi-heure, on laisse les scories s'écouler en partie, et on répète cette opération trois ou quatre fois dans l'espace qui sépare la première percée de

la fin de la période. L'ouvrier doit avoir soin que la fonte soit toujours suffisamment recouverte par le bain et que les lopins que l'on forge puissent y être trempés, autrement le déchet serait plus considérable. On reconnaît qu'il n'y a plus assez de scories quand le feu donne des étincelles claires. Quand on a terminé le travail des lopins, ce qui a lieu au bout de deux heures environ, on arrête les soufflets, on enlève le charbon et on laisse la fonte demi-affinée une demi-heure dans le foyer afin qu'elle se refroidisse, et que la fonte qu'on va lui faire subir de nouveau aille plus lentement. La fonte demi-affinée prend le nom de *frischklumpen*. Si le refroidissement ne se fait pas assez vite l'ouvrier jette un peu d'eau sur la fonte.

*Deuxième période.* — Cette période dure de une heure et demie à une heure. Quand le *frischklumpen* est assez refroidi, on le soulève et on le place au-dessus de la tuyère, de telle façon que la partie d'abord la plus rapprochée de la tuyère soit la plus élevée; on donne le vent et on charge du charbon. La fonte demi-affinée tombe goutte à goutte dans le creuset en passant devant le vent de la tuyère : elle perd l'excès de carbone qu'elle retient encore. Le fondeur reconnaît à la couleur de la portion fondue si le travail va trop vite, ou au contraire s'il va trop lentement. Dans le premier cas, il ajoute des scories pauvres qui coulent dans la première partie de l'opération, et dans le second, ce qu'on appelle *stockleich*. Le stockleich est une scorie riche que l'on obtient dans le travail de la loupe. Quand le fer se trouve dans le creuset, l'ouvrier enfonce de temps en temps son ringard, et il juge par l'adhérence plus ou moins grande du dé de l'état de

l'opération. Quand il pense qu'elle est terminée, il réunit à la loupe les petits morceaux détachés, il arrête le vent, saisit la loupe avec une pince et l'enlève : c'est alors que commence le travail mécanique avec la première période de l'opération suivante.

La partie mécanique de l'opération est très-simple. L'ouvrier qui a préparé le fer porte la loupe sous le marteau avec une pince, et en la forgeant il a soin qu'elle prenne une forme prismatique. Il la coupe ensuite en quatre lopins, dont l'un est forgé presque immédiatement, deux autres portés dans le feu, et le quatrième mis de côté pour être réchauffé plus tard. On fait quatre barres, dont les deux bouts sont étirés successivement. On fait aussi quelquefois jusqu'à cinq, six et même jusqu'à 7 barres. Lorsque le fer est destiné à la fabrication de la vergecrénelée, les barres sont carrées ; s'il est destiné à la fabrication de la tôle, les barres sont plates.

Tel est le procédé généralement suivi dans le Thuringerwald, procédé qui est connu sous le nom de *kaltfrischfeuersarbeit*. Quelquefois, mais seulement dans les contrées où le charbon est assez abondant, on soulève plusieure fois la loupe. Le procédé dans lequel on opère ainsi s'appelle *warmrischfeuersarbeit*, il ne diffère du précédent que par cette circonstance. Enfin dans quelques usines on a supprimé le refroidissement que l'on fait subir à la masse demi-affinée à la fin de la première période. Je n'ai vu ce procédé en usage que dans deux usines, à Luisenthal et à Georgenthal; on y travaille à l'air chaud.

5° Nature des produits obtenus et consommations.

Les produits que l'on obtient de l'affinage sont : le fer, les scories pauvres et les scories riches. Nous n'avons rien à dire du fer, il est en général

3

de bonne qualité. Les scories pauvres sont passées en partie comme nous l'avons vu dans les *blauofen*. Quant aux scories riches, aux battitures, elles servent dans la forge même pour les opérations suivantes.

On obtient de 100 de fonte, de 71 à 75 de fer, avec une consommation de 2,50 à 3, en poids, pour 1 de fer fabriqué. Dans les usines bien conduites, elle peut descendre à 2,30.

6° Conditions économiques de la fabrication.

Les forges du Thuringerwald sont en général de très-petites usines qui ne travaillent que la moitié de l'année, et produisent 500 quintaux métriques de fer. Le travail est réglé ainsi : on quitte ordinairement le samedi à midi, ou deux ou trois heures plus tard, et on ne reprend que le lundi matin à quatre heures, en sorte qu'il y a environ trente-six heures de chômage par semaine.

Je calculerai le prix de revient de 1 quintal de fer, dans les deux forges de Georgenthal et de Luisenthal, qui appartiennent au duc de Saxe-Cobourg. Les prix sont calculés d'après une moyenne de six années, de 1831 à 1836.

Les deux feux d'affinerie de Luisenthal ont produit, année moyenne, 2409 quintaux, 64$^{\text{liv.}}$,4 de fer forgé en barres.

Le feu d'affinerie de Georgenthal a produit 1000 quintaux 83$^{\text{liv.}}$,9 de même fer aussi en barres.

*Frais spéciaux.*

| A Luisenthal. | th. | s.g. | B Georgenthal. | th. | s.g. |
|---|---|---|---|---|---|
| Fonte 1 quint. 25 liv. | 3 | 1 | Fonte 1 quint. 27 liv. | 3 | 3 |
| Ch. 4$^{\text{st.}}$,24, pes 280 l. | 1 | 16 | Ch. 4$^{\text{st.}}$,08, pes. 270 l. | 1 | 15 |
| Main-d'œuvre, 6 ouvr. | 0 | 13 | Main-d'œuvre, 6 ouvr. | 0 | 14 |
| | 5 | 00 | | 4 | 29 |

*Frais généraux.*

| | | |
|---|---|---|
| Int. du capital et du fonds de roulement (approché). | 4 s.g. | 4 s.g. |
| Frais d'entretien. . . . . . | 7 | 7 |
| Frais de direction (1). . . . | 5 | 1 |
| Menues dépenses. . . . . . | 1 | 1 |
| | 17 | 13 |

| | | |
|---|---|---|
| Frais spéciaux. . . . . | 5 0 | 4 29 |
| Frais généraux. . . . . | 0 17 | 0 13 |
| | 5 17 | 5 12 |

Le quintal de fer revient donc moyennement à 5 th. 15 s. g.; il est vendu 6 th. à l'usine de Luisenthal. Au prix de 5 th. 15 s. g. le quintal de Saxe-Cobourg, 1 quintal métrique revient à 44 fr. 22 c., et à celui de 6 th. le quintal de Saxe, 48 fr. 4 c. le quintal métrique.

Toutes ces données se rapportent au fer forgé en barres *stabeisen*, propre à la fabrication du *zaineisen*, c'est-à-dire ayant environ 1 pouce 1/2 de côté.

7° Emploi de l'air chaud.

On a substitué, en 1839, l'air chaud à l'air froid, dans les forges de Luisenthal et de Georgenthal. L'air est lancé par les buses des soufflets dans un tuyau qui fait plusieurs circuits au-dessus du foyer, et qui est chauffé par les flammes perdues. La tuyère est en cuivre, elle est traversée par un courant d'eau. Le résultat principal que l'on a obtenu est une économie très-notable sur le combustible brûlé : d'un autre côté, le déchet sur la fonte a été un peu augmenté, mais le prix du

(1) L'usine de Luisenthal a un directeur, et celle de Georgenthal seulement un surveillant.

quintal de fer a été considérablement diminué, comme on en jugera par les tableaux suivants. Je ne puis attribuer cette augmentation de déchet sur la fonte qu'à l'inexpérience des ouvriers qui, travaillant avec une nouvelle méthode qui ne leur était pas bien connue, ont dû nécessairement, en recherchant le meilleur procédé de travail, faire quelques expériences. Quant à la quantité de fer produite dans l'unité de temps, il paraîtrait qu'elle a augmenté, puisque le salaire des ouvriers qui se rapporte à 1 quintal de fer fabriqué a diminué.

L'usine de Luisenthal a produit, en 1839, 2194 quintaux, 50 livres de fer forgé en barres.

Celle de Georgenthal, 1026 quintaux de fer en barres.

Le tableau suivant représente les éléments du prix de revient de 1 quintal du pays de *fer forgé en barres*, de 1 pouce 1/2 de côté.

*Frais spéciaux.*

| A Luisenthal. | th. | s.g. | pf. | B Georgenthal. | th. | s.g. | pf. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fonte 129liv.,2. . . | 3 | 0 | 7,3 | 132liv.,6. . . . | 3 | 5 | 1,3 |
| Ch. 27p.c.,3 (166l.). | 1 | 0 | 8,3 | 25p.c.,9 (158l.). | 1 | 0 | 3,7 |
| Main-d'œuvre. . . | 0 | 10 | 8,1 | Main-d'œuvre. | 0 | 12 | 4,7 |
| | 4 | 11 | 11,7 | | 4 | 17 | 9,7 |

*Frais généraux.*

| | th. | s.g. | pf. | th. | s.g. | pf. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Intérêt du capital engagé et du fonds de roulement. . | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 | 0,0 |
| Frais d'entretien. . . . . . | 0 | 7 | 0 | 0 | 7 | 5,9 |
| Frais de direction. . . . . | 0 | 4 | 7,8 | » | » | » |
| Menues dépenses. . . . . | 0 | 0 | 5,1 | 0 | 0 | 10,8 |
| | 0 | 16 | 0,9 | 0 | 12 | 4,7 |
| Frais spéciaux. . . . . . . | 4 | 11 | 11,7 | 4 | 17 | 9,7 |
| Frais généraux. . . . . . | 0 | 16 | 0,9 | 0 | 12 | 4,7 |
| | 4 | 28 | 0,6 | 5 | 0 | 2,4 |

Le quintal de Saxe revenant à 5 th. environ, ou à 18 fr. 75 c., le quintal métrique vaut 40 fr. 21 c.; or, le même quintal étant vendu 48,04, et les trois forges de Luisenthal et de Georgenthal produisant environ 2000 quintaux métriques par année, elles rapportent un bénéfice net de 16,000 fr.

### De la fabrication du fer dans les creusets de brasques.

La fabrication du fer par la méthode désignée en allemand sous le nom de *læschfeuersarbeit*, était autrefois répandue dans tout le Thuringerwald et beaucoup d'autres contrées de l'Allemagne. Les sept usines qui l'emploient encore aujourd'hui sont concentrées autour de la petite ville de Suhl. Tout en produisant un fer d'excellente qualité, cette méthode exige une grande consommation de combustible et donne un grand déchet sur la fonte soumise à l'affinage. Aussi les ingénieurs prussiens ont-ils depuis longtemps déjà engagé les propriétaires de ces usines à transformer les lœschfeuer en foyers d'affinerie, comme on l'a fait dans les autres parties du Thuringerwald. Jusqu'ici leurs efforts ont été vains, ce que l'on doit principalement attribuer à l'isolement où se trouvait autrefois la ville de Suhl, bâtie au pied des montagnes, sans communication directe un peu importante avec les villes voisines. Cette cause n'existe plus aujourd'hui, puisqu'elle est traversée par la nouvelle chaussée de Schleusingen à Gotha. Ce passage important, ouvert depuis quelques années seulement à la circulation, a déjà donné à Suhl une vie nouvelle. Il est bien probable que les industriels, éclairés désormais sur leurs véritables

Généralités.

intérêts, ne tarderont pas à abandonner une méthode barbare, lorsqu'ils iront voir ce qui se fait de l'autre côté des montagnes, à Luisenthal et à Georgenthal. La suppression des lœschfeuer ne sera pas le résultat le moins précieux de l'établissement d'une nouvelle voie de communication.

Le procédé de la fabrication de la fonte dans les lœschfeuer, a quelque chose de tout particulier. Il consiste à préparer dans les stückofen une masse demi-affinée que l'on coupe en morceaux de 15 à 20 kilogrammes, et à affiner la fonte conjointement avec un de ces morceaux dans un creuset brasqué. Tel est en gros le procédé ; il se compose de deux parties distinctes : la préparation de la masse demi-affinée, et l'affinage proprement dit; je décrirai chacune d'elles successivement : mais avant de commencer cette description, je dois encore dire un mot de la manière dont travaillent les lœschfeuer. Le fer qu'ils produisent est ordinairement employé pour la fabrication de la tôle par une méthode ancienne qui consiste à l'étendre sous le marteau. Un jour le creuset de brasque sert du lœschfeuer et on affine de la fonte, le lendemain on fait au contraire de la tôle, et on alterne ainsi la fabrication.

Des stückofen. Toutes les usines qui ont un *lœschfeuer* n'ont pas un *stückofen*, et il n'en existe plus qu'un dans la ville de *Suhl*. Ces usines préparent leur fonte demi-affinée dans le *blauofen*, en changeant seulement les charges et en travaillant différemment. Quant au *stückofen* (V. *fig.* 9, *Pl. VI*), il est absolument disposé comme les *flussofen*; seulement ses dimensions sont plus petites. Il a 13 pieds de Prusse en hauteur, 1 pied 2 pouces au gueulard, 3 pieds au ventre, 1 pied 4 pouces

au fond, le ventre est distant du fond de 4 pieds. Il y a deux embrasures, dont une latérale pour la tuyère. La poitrine est percée d'un trou rectangulaire maintenu par un cadre en fer. Pendant l'opération, on bouche ce trou avec un petit mur en brique, que l'on démolit quand on veut faire sortir la loupe. La tuyère est horizontale, en cuivre, elle n'avance que très-peu dans le fourneau.

Je ne dirai que quelques mots sur l'opération même, parce que lors de mon passage à Suhl, je n'ai trouvé aucun des flussofen travaillant pour produire une fonte demi-affinée. Le stuckofen n'était pas en feu.

Le lit de fusion se compose de scories riches, provenant du travail des lœschfeuer, de battitures produites par l'oxydation de la tôle, et quelquefois d'un peu de minerai rouge. On donne très-peu de vent, et les charges descendent lentement. Le laitier s'écoule sans interruption par un trou que l'on élève à mesure qu'il est bouché par la fonte. On travaille à tuyère obscure et l'on est souvent obligé de briser les scories qui s'amassent en trop grande quantité dans le voisinage de la tuyère. Le laitier qui s'écoule a été analysé par M. *Karsten*; il est composé de

| | |
|---|---|
| Silice. . . . . . . . . . . . . . . | 29,1 |
| Alumine. . . . . . . . . . . . . . | 4,3 |
| Chaux. . . . . . . . . . . . . . . | 2,6 |
| Magnésie. . . . . . . . . . . . . | 9,2 |
| Oxyde de fer. . . . . . . . . . . . | 51,7 |
| — de manganèse. . . . . . . | 2,9 |
| Potasse. . . . . . . . . . . . . | traces |
| | 99,8 |

Ces nombres prouvent que le laitier est un sili-

cate simple qui ressemble aux scories pauvres que l'on obtient par l'affinage de la fonte. C'est à la grande quantité d'oxydule que contient le bain dans lequel tombe la fonte que l'on doit attribuer la décarburation partielle. Il se produit là une espèce de mazéage. Quand le creuset est rempli, on démolit le mur, on enlève la loupe et on la coupe sous le marteau, en morceaux de 15 à 20 kil., qui prennent le nom de *güssstück*. Le travail n'est pas du tout interrompu. On passe ordinairement deux charges de charbon quand on s'aperçoit que le creuset va être rempli, et on arrête l'opération quand ces charges sont à la hauteur de la tuyère. La loupe une fois enlevée, on se hâte de reconstruire le mur, on donne de nouveau le vent, et on recommence ainsi, avec les charges qui sont déjà dans le fourneau, une nouvelle opération.

Le produit obtenu dans les stückofen se rapproche plus du fer que de la fonte par son aspect extérieur. Il est extrêmement dur, il raye les limes d'acier et on ne peut le couper avec un ciseau.

Des lœschfeuer. 1° Matériel employé.

La construction d'un lœschfeuer est des plus simples, on en voit une projection horizontale, *fig.* 10, *Pl. VI.* La partie bâtie en maçonnerie ne diffère pas sensiblement de celle des forges ordinaires.

L'espace compris entre le mur de l'usine et celui de la tuyère est rempli de brasque sur une hauteur de 0m,40. La brasque est maintenue par une poutre fixée aux murs, par des crampons en fer. Du côté opposé à la tuyère est une cuve en bois remplie d'eau qui maintient la brasque de ce côté, et qui sert aux ouvriers pour refroidir leurs outils.

Le creuset a une forme grossièrement elliptique; sa longueur, au commencement de l'opéra-

tion, est de $0^m,95$, sa largeur de $0^m,80$. Ces dimensions doivent varier, parceque, dans les usines qui travaillent d'une manière continue, on ne reconstruit le creuset qu'une fois par semaine, le lundi matin avant de commencer la première opération, et qu'il se dégrade nécessairement beaucoup. Deux barres de fer fixées à la maçonnerie et reliées par leurs extrémités s'opposent un peu à cette dégradation. Elle servent aussi à l'ouvrier de points d'appui pour travailler dans le creuset et enlever la loupe. Elles sont plates, la plus grande largeur étant égale à celle de la main et placée verticalement. La tuyère est horizontale, elle avance de 15 centimètres dans le foyer, et elle est placée suivant le petit axe de l'ellipse.

Le vent est fourni par deux soufflets en bois, comme dans les blauofen et les autres forges; le marteau est pris de côté, il pèse de 250 kil. à 300 kilogrammes.

2° Personnel.

Le personnel attaché à un lœschfeuer se compose de 5 ouvriers, 1 maître fondeur et 4 forgerons. C'est le maître fondeur qui fabrique tout le fer produit, mais il ne travaille pas continuellement, parce qu'on forge les lopins à part. Il est aidé par deux forgerons qui restent seuls pour le travail des lopins. Ces ouvriers sont associés et ils reçoivent à peu près par quintal de fer fabriqué le même prix que les ouvriers employés dans les autres forges.

3° Matières premières de la fabrication.

Les matières premières de la fabrication sont : 1° la fonte; 2° le *güssstück* ou à son défaut des rognures de tôle, du vieux fer, les dés de l'opération précédente; 3° des bâttitures, des morceaux de métal ou des scories riches qui se détachent quand on forge la loupe; 4° enfin le charbon.

La fonte est blanche, sous forme de plaques minces et rondes. Nous avons dit ce que c'était que le güssstück en parlant des stückofen, et les autres produits sont bien connus. On emploie ordinairement, mais à défaut d'autre, du charbon de pin.

4° Description de l'opération. L'opération se partage en deux parties qui se font successivement, l'affinage de la fonte et le travail des lopins.

1° Affinage de la fonte.

Je décrirai une opération dans laquelle on s'est servi à la fois de güssstück et de rognures de tôle. Ce cas se présente assez souvent, parce que, comme je l'ai déjà dit, les lœschfeuer fabriquent aussi de la tôle, et qu'on repasse toutes les rognures dans le foyer d'affinerie.

L'affinage dure deux heures.

On commence l'opération : le creuset est rempli d'une scorie riche en oxydule de fer, parce que, pendant le travail des lopins, on charge à plusieurs reprises les *scories pâteuses*, qui se détachent en gros morceaux pendant que l'on forge la loupe. On répare le pourtour du creuset et on charge du charbon ; on donne le vent ; on prend avec une pince une trousse de plaques et on la fait fondre lentement en la maintenant à une certaine distance de la tuyère. Le *güssstück*, qui pèse environ 18 kilogrammes, est placé à côté, mais encore plus loin de la tuyère ; il est aussi maintenu avec une pince. La fusion de ces deux matières premières de la fabrication se fait donc en même temps. Pendant cette première partie de l'opération, l'ouvrier a très-peu de chose à faire : quand une trousse est fondue, il la remplace par une autre. De temps en temps il plonge son ringard dans le bain, et il juge d'après l'aspect des

matières qu'il en retire, et aussi d'après l'aspect de la flamme qui pendant tout le temps de l'opération s'élève au-dessus du foyer de la marche de l'opération. Quand le dé est rouge et qu'il adhère peu aux outils, l'affinage marche lentement, il ajoute des scories riches; quand au contraire le dé est blanc, qu'il s'attache fortement au ringard, c'est que l'affinage est avancé.

Une heure 1/4 après le commencement de l'opération, la fonte et le *güssstück* sont fondus. On aperçoit, quand on retire la pince qui soutenait ce dernier, qu'il en reste un peu après l'outil et qu'il n'a éprouvé qu'une fusion pâteuse.

A 1 heure 1/2 on charge 15 kilogrammes de rognures de tôle, et on ajoute du charbon.

Pendant la dernière partie de l'opération, l'ouvrier travaille fréquemment dans la loupe, il y enfonce son ringard, en retire des dés et quelquefois lui fait décrire un quart de révolution pour rendre la loupe et multiplier les points de contact avec la scorie. Ce travail devient surtout très-actif pendant les trois derniers quarts d'heure.

A 1 heure 3/4 le maître fondeur découvre en partie le feu, le vent frappant alors sur la scorie, la fait bouillonner, et il s'élève une grande quantité d'étincelles brillantes qui remplissent toute l'usine. Pendant ce temps, l'ouvrier, appuyant son ringard sur la barre de fer qui entoure le creuset, et le tenant peu incliné, l'enfonce dans la loupe et le retire à différentes reprises.

A 2 heures l'opération est terminée. Les deux forgerons s'unissent au maître fondeur pour enlever la loupe : c'est une opération assez difficile, parce que celle-ci est assez pesante. L'un des ouvriers est armé d'une grosse pince; le second d'un

ringard droit et le troisième d'un ringard recourbé : on la jette sur le sol de l'usine, puis on la porte sous le marteau en la maintenant par un levier porté par deux hommes, et une pince que tient un troisième.

On attend que les scories soient un peu figées et on les enlève du feu ; on traite les morceaux les plus gros dans les *stückofen*, les autres dans les *flussofen*.

Elles sont riches en oxydule de fer; M. Karsten donne l'analyse de l'une d'elles.

| | |
|---|---|
| Silice. . . . . . . . . . . . . | 7,213 |
| Oxyde de fer. . . . . . . . . | 75,930 |
| Alumine. . . . . . . . . . . | 1,741 |
| Oxyde de manganèse. . . . . | 11,343 |
| Magnésie. . . . . . . . . . . | 1,243 |
| Chaux. . . . . . . . . . . . | 0,280 |
| Potasse. . . . . . . . . . . . | 0,786 |
| | 98,536 |

On voit que ce qui caractérise principalement ce procédé est *qu'on ne soulève pas la loupe et qu'on ne fait pas écouler les scories.* La loupe porte le nom de *dühl.*

Elle pèse ordinairement 100 kilogrammes.

2° Travail des lopins.

Le travail des lopins dure trois heures.

Lorsque la loupe est enlevée du foyer, on la forge et on la coupe en deux morceaux ; ce travail dure 40'. Pendant ce travail, deux espèces de produits se détachent de la loupe, des scories très-liquides qui sont de même nature que celles qui restent dans le foyer, on les traite dans les stückofen pour former le güssstück, et des morceaux pâteux qui sont des mélanges de scories avec de petits morceaux de fer qui ne sont pas bien soudés. *Ces*

scories sont employées pour former la sorne de l'opération suivante, et ce sont elles que l'on charge pendant le travail des lopins.

On coupe l'une des moitiés de la loupe en trois morceaux, deux moyens et un gros. Cette opération dure 20′. Pendant ce temps, on a porté l'autre moitié à réchauffer et on a donné un peu de vent.

A 3 heures on coupe le second morceau de la même manière que le premier; 3 heures 20′.

En même temps on reporte dans le foyer les trois morceaux de la première moitié, et on donne le vent; on charge aussi des scories du côté opposé à la tuyère.

Dans le temps qui reste encore, c'est-à-dire en 1 heure 40′, on a complétement forgé le fer. On a fait deux grosses barres et quatre petites barres plates pour la fabrication de la tôle. On a chargé des scories à plusieurs reprises.

On obtient, des lœschfeuer, diverses espèces de produits : 5° Nature des produits obtenus et consommations.

1° Du fer, ordinairement en barres plates pour la fabrication de la tôle;

2° Des scories riches qui tombent en gros morceaux quand on forge la loupe et qui sont employées dans l'opération suivante;

3° Des scories liquides qui s'écoulent quand on forge la loupe et que l'on traite dans les *stückofen* pour former le *güssstück*;

4° Des scories qui restent dans le creuset brasqué à la fin de l'opération, et que l'on traite en partie dans les *stückofen* et en partie dans les *flüssofen*.

La consommation en combustible et le déchet sur la fonte sont bien difficiles à déterminer, et j'avoue qu'on m'a donné des renseignements

complétement faux à ce sujet. Si j'en croyais un des industriels de Suhl, la quantité de charbon brûlé et le déchet seraient moindres que dans le procédé d'affinage ordinaire. Mais je ne puis pas me ranger à cet avis, parce que pendant tout le temps de l'opération il s'élève du foyer une flamme très-considérable, et que l'on ne peut compter comme de la fonte, ni le güssstück, ni les rognures de tôle, quand on fait le calcul du déchet. On conçoit, d'après la variété des produits que l'on traite, produits qui n'ont pas là de valeur bien déterminée, et aussi d'après la variété des produits que l'on obtient, combien les conditions économiques d'une pareille fabrication sont difficiles à établir. Il est évident qu'il faut faire entrer dans les consommations le charbon brûlé dans les stückofen pour la fabrication du *güssstück*; mais on ne sait pas à quel prix il faut estimer les rognures de tôle; les scories produits de l'opération qui sont repassés dans les *flussofen*; enfin, par la mauvaise volonté des propriétaires, ni la consommation en combustible, ni le déchet, ne sont bien connus. On manque donc des éléments principaux sur lesquels on puisse établir quelque chose de certain.

6° Théorie. Dans un lœschfeuer le soulèvement de la loupe n'a pas lieu; il me semble donc impossible que l'air lancé par la tuyère ne joue pas un rôle chimique dans la première partie de l'opération. Je crois que l'on doit attribuer la décarburation partielle de la fonte à deux causes principales : 1° à l'action des scories riches en oxydule; 2° à la cause inconnue qui porte la fonte à se décarburer en présence d'une certaine quantité de fer déjà formée. Il est facile de voir que si ces deux causes agissaient seules, le poids de la fonte qui se con-

vertit en fer, au lieu de diminuer, augmenterait. Il faut donc que, pendant la première partie de l'opération, l'air oxyde en même temps que le carbone une certaine quantité de fer.

## TROISIÈME PARTIE.

### DE LA FABRICATION DE L'ACIER.

L'acier que produit le Thuringerwald est fabriqué dans de petits foyers par une méthode d'affinage qui n'est qu'une variété de celle par laquelle on obtient le fer. La fabrication de l'acier est surtout très-active dans l'ouest du Thuringerwald, et en particulier dans la principauté de Schmalkalden, où il n'y a pas moins de neuf foyers d'affinerie. Je décrirai le procédé tel qu'on le pratique dans cette principauté. Généralités.

Le foyer est complétement construit en pierres réfractaires (grès bigarré, grès ou conglomérat du *todtliegende*) ou bien en briques. (V. *fig.* 12 et 13, *Pl. VI.*) 1° Matériel employé.

La pierre de fond est légèrement excavée, elle s'use rapidement, et on la répare à chaque opération.

La tuyère est en cuivre, le vent est fourni par deux soufflets en bois. Le marteau pèse 100 kil.

Le personnel attaché à une fabrique d'acier se compose ordinairement de 3 ouvriers et 1 aide. On y travaille nuit et jour, et on quitte le samedi à midi pour ne reprendre que le lundi à quatre heures. Les ouvriers reçoivent ensemble 2$^{fr}$,12 par quintal de Hesse d'acier fabriqué. 2° Personnel.

Les matières premières de la fabrication sont la fonte et le charbon. La fonte est blanche, caverneuse, 3° Matières premières

tachetée de gris; elle contient à la fois beaucoup de manganèse et de carbone; quelquefois elle est rayonnée, quelquefois lamelleuse à grandes lames: elle est en général produite par une allure plus chaude que celle destinée à l'affinage pour fer. On mélange le charbon de pin et de sapin par parties égales.

4° Description de l'opération.

L'opération dure cinq heures: elle se compose de deux parties, le travail des lopins et l'affinage de la fonte. Pendant le travail des lopins, on produit, en chargeant dans le fond du creuset un morceau de 12 kil. et des scories riches, une masse aciéreuse qui joue le même rôle que le *frischvogel* dans les *frischfeuer* et le *güssstück* dans les *læschfeuer*.

Je décrirai successivement ces deux parties en ne séparant pas la partie mécanique de l'opération.

1° Travail des lopins et préparation de l'affinage.

Quand une loupe que l'on appelle *schrei* est formée, on enlève la brasque et on la fait sortir du foyer en la faisant passer par-dessus la barre de fer; on la forge et on la coupe en deux morceaux; deux ouvriers sont employés à ce travail; l'autre s'occupe dans le même temps de préparer le creuset pour l'opération suivante: il commence par jeter de l'eau sur les scories et les brasse en même temps avec les petits morceaux de charbon qui sont restés dans le foyer; elles se figent; il les enlève avec son ringard. Quelquefois elles adhèrent au creuset, alors il les détache en frappant dessus avec son ringard: il jette de l'eau à plusieurs reprises dans le foyer, et enlève toutes les scories. Le fond du creuset est endommagé surtout vers le milieu.

L'ouvrier tasse de l'argile au fond, et il place par-dessus une petite pierre de grès grossièrement taillée ; cette pierre est à peu près circulaire, une autre triangulaire s'appuie sur elle; il consolide ces pierres avec de l'argile humide ; il charge ensuite du charbon et 15 kil. environ de fonte qu'il recouvre avec du combustible, et il donne du vent. Ceci se fait pendant qu'on forge la loupe et qu'on la coupe en deux. L'une des moitiés est placée au-dessus de la tuyère, tandis qu'on divise l'autre sous le marteau en plusieurs lopins. Cette division faite, on partage de la même manière la seconde moitié de la loupe. Elle est ordinairement divisée en 4, 5, 6 parties, que l'on coupe, que l'on rapproche, et que l'on forge de nouveau afin de rendre le tout plus homogène.

Une loupe fournit environ de 18 à 20 barres de 0m,02 de côté : on ajoute, pendant cette première partie, des scories riches à plusieurs reprises. Elle dure en tout 2 heures 1/2.

2° Affinage.

Dans la seconde partie de l'opération, on charge environ 40 kil. de fonte à plusieurs reprises et toujours du côté opposé à la tuyère. On ne suit guère de règles pour le poids des charges et l'intervalle qui doit les séparer. Dans une opération que j'ai vu exécuter, voici l'ordre que l'on a suivi :

2 heures 1/2, on charge 30 kil. de fonte.

3 heures, on commence à travailler avec le ringard dans le bain, une grande partie de la fonte est déjà fondue.

3 heures 1/2, on ajoute 10 kil. de fonte.

On travaille à plusieurs reprises dans la loupe ; l'ouvrier enfonce son ringard et la perce en plusieurs endroits.

4 heures 3/4, nouvelle addition de scories (le travail allait trop lentement).

5 heures, on enlève la loupe, comme je l'ai dit en commençant.

Pendant cette seconde partie de l'opération, on continue à raffiner l'acier. Le raffinage dure même quelquefois jusqu'à la fin, c'est-à-dire jusqu'au moment où on enlève la loupe.

On a soin, pendant tout le temps de l'opération, d'accélérer la marche des soufflets qui doivent aller beaucoup plus rapidement que lorsqu'on affine pour obtenir du fer. Je ne crois pas que l'on puisse se rendre bien compte de cette circonstance. L'addition de la fonte par parties est nécessitée par la grande facilité avec laquelle la fonte manganésée passe à l'état d'acier.

5° Nature des produits obtenus.

L'acier qu'on obtient dans les forges du Thuringerwald est propre à être livré immédiatement au commerce, il est d'excellente qualité.

Une loupe (*schrei*) pèse moyennement 40 kil.

On fabrique en une semaine 11 quintaux mét. d'acier; quelquefois seulement 7 quintaux.

136 de fonte donnent 100 d'acier, et on consomme 325 de charbon en poids.

6° Conditions économiques de la fabrication.

Je calculerai le prix de revient de 1 quintal de Cassel d'acier, pour une usine placée près de Schmalkalden.

Le quintal de Hesse = 108 liv.

*Frais spéciaux.*

| | th. | s.g. |
|---|---|---|
| Fonte 146 liv. 88. . . . . . . . . . | 3 | 24 |
| Charbon 6 tonnes de Prusse (350 liv.). | 2 | 00 |
| Main-d'œuvre. . . . . . . . . . . . | 0 | 18 |
| | 6 | 12 |

*Frais généraux.*

| | |
|---|---|
| | s.g. |
| Intérêt du capital et du fonds de roulement approché | 3 |
| Frais d'entretien | 5 |
| Frais de direction | » |
| Menues dépenses | 1 |
| | 9 |

| | th. | s.g. |
|---|---|---|
| Frais spéciaux | 6 | 12 |
| Frais généraux | » | 9 |
| | 6 | 21 |

Le quintal de Hesse coûtant 6 th. 21 s. g. ou 25 f. 12 c., le quintal mét. reviendrait à 47 f. 70 c.

## QUATRIÈME PARTIE

### FABRICATION DE LA TÔLE ET DE LA VERGE CRÉNELÉE.

#### 1° Fabrication de la tôle.

Généralités.

On fabrique la tôle, dans le Thuringerwald, par un procédé fort ancien, et aujourd'hui fort peu répandu dans le reste de l'Allemagne. Ce procédé consiste à étirer le fer sous des marteaux (*blechhammer*).

Un blechhammer se compose d'un feu de forge et d'un marteau pesant 250 kil. La table de l'enclume doit être plus large que quand on fabrique le fer.

Description de l'opération.

L'opération est assez simple. On chauffe les barres qui doivent être plates, en les maintenant dans la forge avec une pince, puis on les porte sous le marteau et on étire un des bouts. Le fer ne s'étend que dans le sens de la largeur : c'est là un point essentiel pour ce genre de fabrication.

Quand la partie étirée est à peu près double de la partie primitive, on reporte la barre à la forge et on chauffe l'autre bout qu'on étire comme le premier, et on continue ainsi jusqu'à ce que la tôle soit parvenue à la largeur et à l'épaisseur voulues. Toutefois, quand les feuilles doivent être minces, on les réunit par couple, on les chauffe et on les étire ensemble, après les avoir antérieurement trempées dans de l'eau chargée d'argile et de poussière de charbon. Pendant qu'on chauffe les plaques, on jette de temps en temps des battitures dessus afin d'éviter la trop grande oxydation. On pare naturellement la tôle après la dernière chaude, parce que l'enclume est très-large. Quand les feuilles sont terminées, on les place sur une taque de fer qui se trouve sur le sol de l'usine, et on les bat avec un marteau en bois, afin de les redresser; on les rogne ensuite avec des cisailles.

Trois ouvriers sont employés à un blech-hammer, deux seulement travaillent.

On fabrique, en vingt-quatre heures, 6 quint. mét. de tôle de $0^m,05$ d'épaisseur, ou 4 quintaux mét. de $0^m,02$ d'épaisseur. C'est la plus faible des épaisseurs que l'on produit dans les usines qui sont aux environs de Suhl.

Le déchet par oxydation est tel que 110 liv. de Prusse ou 1 quintal, ne produisent que 100 liv. de tôle de $0^m,05$; le déchet augmente nécessairement quand l'épaisseur diminue. On peut estimer que sur ces 100 liv. produites, il y a 30 pour o/o de déchet pour les rognures et les pièces manquées. Ainsi, 1 quintal de Prusse ne produit guère que 70 liv. de tôle de $0^m,05$ d'épaisseur.

Le déchet total est donc de 36,37 pour o/o.

On consomme à Sulh $7^{m.c.},56$ de charbon,

pin pour 1000 kil. de tôle de 0m,05 d'épaisseur, et 11m.c.,34 pour le même poids de tôle ayant 0m,02 d'épaisseur.

Le procédé suivi est évidemment très-désavantageux sous le rapport économique; mais en revanche, le fer n'étant étiré que dans le sens de la largeur, on obtient une tôle meilleure que celle produite sous les laminoirs qui étirent dans les deux sens. Celle de Suhl est surtout recherchée pour la confection des chaudières des salines.

2° De la fabrication de la verge crénelée, de fer ou d'acier, dite, en allemand, *zaineisen* ou *zainstah*.

On fabrique dans le Thuringerwald une grande quantité de verge crénelée, de fer ou d'acier, parce que les forgerons, serruriers, etc., n'emploient ces deux matières premières de leur industrie que sous cette forme. Les tréfileries même préfèrent la verge crénelée à toute autre espèce de fer, quoiqu'il faille un travail pour faire disparaître les inégalités. On ne saurait se rendre un compte exact de cette circonstance. Ce qu'il y a de bien certain, c'est que la verge crénelée est plus facile à fabriquer que le fer plat de même échantillon, et c'est peut-être à cette cause très-simple de la plus grande facilité du travail qu'il faut attribuer le développement donné à cette fabrication dans la plus grande partie des centres métallurgiques de l'Allemagne. Généralités.

Rien n'est plus simple que la fabrication de la verge crénelée. Le matériel employé se compose d'une petite forge avec un soufflet en cuir. On y brûle du charbon de bois et quelquefois les fruits De la fabrication.

des pins et des sapins qui tombent en automne (*zapfen*). Le marteau pèse 76 kil. ; il est pris par derrière et soulevé par des cames placées sur un arbre très-large qui est mis en mouvement par une roue hydraulique à augets. Comme il y a un très-grand nombre de cames et que l'arbre tourne assez vite, le marteau bat un très-grand nombre de coups à la minute. On cherche à ne laisser entre deux coups consécutifs que l'intervalle nécessaire à l'ouvrier pour exécuter son travail ; c'est évidemment ce qu'il faut faire si on veut brûler le moins possible de combustible et diminuer le déchet produit par oxydation. Le personnel se compose de deux ouvriers : on ne travaille que pendant la journée. Un des ouvriers est occupé à la fabrication de la verge crénelée, l'autre soigne le feu et fait chauffer les barres ; ce dernier est ordinairement un enfant.

Quand la barre est chauffée au point convenable, c'est-à-dire entre le rouge vif et le blanc soudant, l'ouvrier la présente sous le marteau, une des arêtes s'appuyant sur l'enclume ; quand un coup a été frappé, il fait faire un quart de révolution et place l'arête voisine à la place de la première ; en même temps il pousse la barre, puis il la replace dans sa première position, et il continue toujours de la même manière, poussant devant lui la barre d'un mouvement alternatif si rapide qu'il paraît continu.

Deux ouvriers peuvent ainsi en un jour transformer en 1 centner de *zaineisen* le fer forgé en barres qui provient des feux d'affinerie.

Je joindrai à ces détails un tableau qui représente toutes les consommations au *zainhammer*

de *Luisenthal*. Les données que je vais rapporter, sont extraites des registres de l'usine; on peut donc y attacher une entière confiance.

En 1839 on a produit 628 quint. de Gotha, 50 livres de zaineisen; on a brûlé 238 stütze (11 p. cub.) de charbon de pin, et 43 stütze de zapfen : on a employé 647 quint. 35 liv. de fer en barres. Conditions économiques de la fabrication.

On a payé pour le charbon et les zapfen, 98 thalers 4 silbergros 2 pfennigs.

Pour le fer, 3826 th. 8 s.g. 2 pf.

En salaire d'ouvriers, 172 th. 4 s. g. 6 pf.

En frais d'entretien, 7 th. 2 s.g. 6 pf.

En tout, 4103 th. 2 s. g. 4 pf.

En réduisant tout en quintal de verge crénelée, on arrive aux résultats suivants :

*Frais spéciaux.*

| | th. | s.g. | pf. |
|---|---|---|---|
| Fer, 103 liv. payées. . . . | 6 | 2 | 1,4 |
| Charbon, 4p.c.,2 } Zapfen, 0p.c.,8 } . . . . . | 0 | 3 | 2 |
| Main-d'œuvre. . . . . . . . | 0 | 6 | 6,9. |
| | 6 | 11 | 10,3 |

*Frais généraux.*

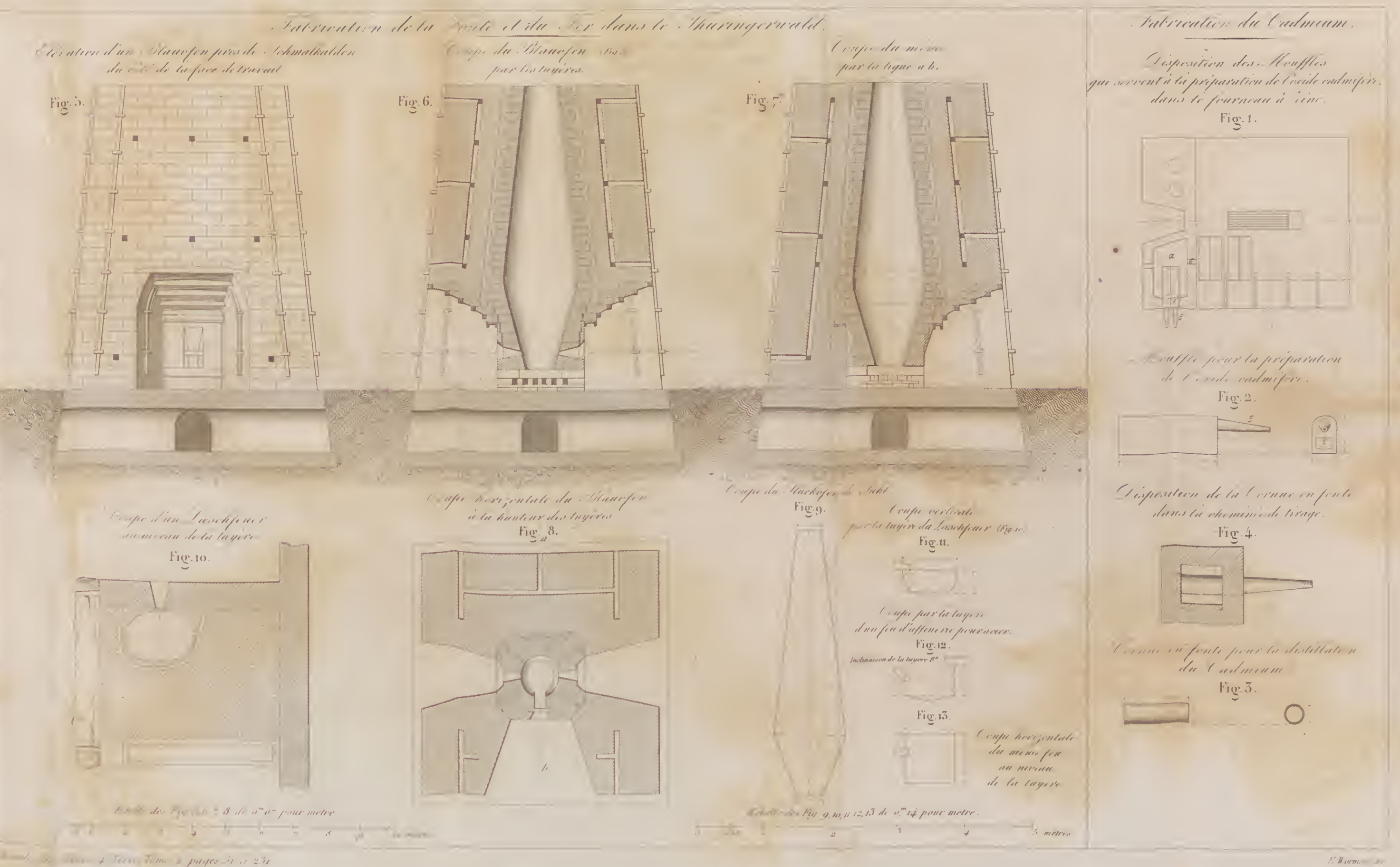
| | th. | s.g. | pf. |
|---|---|---|---|
| Intérêt du capital engagé et du fonds de roulement. Approximatif. . . | 0 | 2 | 0,2 |
| Frais d'entretien. . . . . . . . . | 0 | 0 | 3,2 |
| Menues dépenses. . . . . . . . . . | 0 | 0 | 1 |
| | 0 | 2 | 4,2 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Frais spéciaux. . . . . . . . . . | 6 | 11 | 10,3 |
| Frais généraux. . . . . . . . . . | 0 | 2 | 4,2 |
| | 6 | 14 | 2,5 |

Le prix de revient est de 6 th. 14 s. g. 2 pf., 5; ou de 24 f. 30 c., ce qui donne pour 1 quint. mét. 52 f. 11.

---

PARIS. — IMPRIMERIE DE FAIN ET THUNOT,
IMPRIMEURS DE L'UNIVERSITÉ ROYALE DE FRANCE,
Rue Racine, 28, près de l'Odéon.


Fabrication de la Fonte et du Fer dans le Thuringerwald.
Élévation d'un Blauofen près de Schmalkalden du côté de la face de travail
Fig. 5.
Coupe du Blauofen (Fig. 5) par les tuyères.
Fig. 6.
Coupe du même par la ligne a b.
Fig. 7.
Coupe d'un Laschfeuer au niveau de la tuyère.
Fig. 10.
Coupe horizontale du Blauofen à la hauteur des tuyères.
Fig. 8.
Coupe du Stückofen de Suhl.
Fig. 9.
Coupe verticale par la tuyère du Laschfeuer (Fig. 10).
Fig. 11.
Coupe par la tuyère d'un feu d'affinerie pour acier.
Fig. 12.
Fig. 13.
Coupe horizontale du même feu au niveau de la tuyère
5 mètres
Fabrication du Cadmium.
Disposition des Moufles qui servent à la préparation de l'oxide cadmifère, dans le fourneau à zinc.
Fig. 1.
Moufle pour la préparation de l'oxide cadmifère.
Fig. 2.
Disposition de la Cornue en fonte dans la cheminée de tirage.
Fig. 4.
Cornue en fonte pour la distillation du Cadmium.
Fig. 3.